

SÉRIE A. n° 90

N° D'ORDRE :

110

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR

le Right Reverend

J. I. WEDGWOOD

1^{re} THÈSE. — SUR LA PRODUCTION DU SON PAR LES TUYAUX A BOUCHE DE
L'ORGUE.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 28 Janvier 1921 devant la Commission d'examen

MM. LIPPMANN	Président
M. GUICHARD	} Examineurs
GUILLET	
TOMBECK	

PARIS

EDITIONS " RHEA "

4, SQUARE RAPP, (7°)

—
1921

SÉRIE A. n° 90

D'ORDRE :

110

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR



le Right Reverend

J. I. WEDGWOOD

1^{re} THÈSE. — SUR LA PRODUCTION DU SON PAR LES TUYAUX A BOUCHE DE L'ORGUE.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

Janvier 1921 devant la Commission d'examen

MM. LIPPMANN	Président
M. GUICHARD	} Examinateurs
GUILLET	
TOMBECK	

PARIS

EDITIONS " RHEA "

4, SQUARE RAPP, (7^e)

1921



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Secrétaire Daniel TOMBECK

TABLE DES MATIÈRES

La construction des tuyaux à bouche (*avec deux illustrations*).

CHAPITRE I. — Aperçu historique.

CHAPITRE II. — Critique de la théorie de Helmholtz.

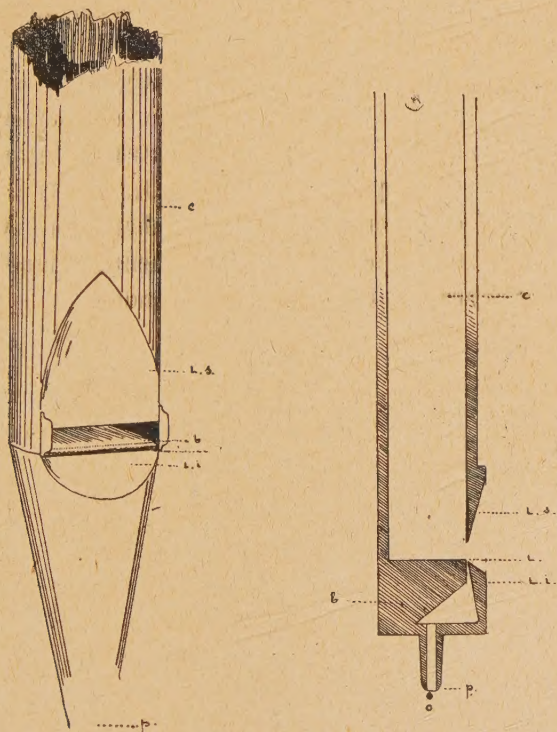
CHAPITRE III. — Etude de « l'anche aérienne ».

CHAPITRE IV. — « L'anche aérienne » est-elle une anche ?

Résumé et conclusions.

Sur la production du son par les tuyaux à bouche de l'orgue.

LA CONSTRUCTION DES TUYAUX A BOUCHE



Figures 1 et 2

Les Fig. 1 et 2 représentent des tuyaux à bouche ou à flûte ouverts, de forme courante, en bois et en métal. L'air sous pression (le vent) est admis au pied du tuyau (p.). Le courant d'air primitivement vertical est

dévié par le biseau (*b*) qui fait jaillir le vent sous forme d'une mince lame à travers l'étroite ouverture qu'on appelle lumière (*l.*) ; celle-ci étant formée par le biseau et la lèvre inférieure (*l. i.*). La lame d'air vient ensuite se heurter contre la lèvre supérieure (*l. s.*), et induit en mouvement périodique la colonne d'air qui se trouve dans le corps du tuyau (*c.*).

La taille du tuyau et la qualité du son qu'il doit produire déterminent la pression du vent, la largeur de la lumière, l'inclinaison que fait prendre la lumière à la lame d'air, et enfin, la hauteur et la forme de la lèvre supérieure.

Le tuyau est fabriqué approximativement à la longueur voulue, et on l'accorde ensuite au moyen d'une entaille de longueur variable à son extrémité supérieure ou par d'autres moyens semblables. On accorde les tuyaux fermés ou « bouchés » (dont la fabrication n'est différente que par le fait qu'ils sont bouchés à leur extrémité supérieure) en déplaçant le bouchon.

CHAPITRE I

THEORIE DE LA PRODUCTION DU SON

PAR LES TUYAUX A BOUCHE

APERÇU HISTORIQUE

I. — *Théories prévalentes*

Il est généralement admis que le son produit par les tuyaux à bouche de l'orgue résulte du mouvement périodique de la colonne d'air qu'ils renferment. Mais la cause initiale de ce mouvement périodique n'est pas encore bien établie. Les explications à ce sujet qui se trouvent dans les livres courants traitants de l'acoustique sont très incomplètes et parfois même inexactes : leurs éminents auteurs ne font qu'effleurer ce sujet, alors qu'il y a des détails du procédé qui demandent une étude quelque peu approfondie. Pietro Blaserna, par exemple, se contente de dire que l'air « entre partiellement dans le tuyau, y induit des vibrations, et produit un son clair et appréciable ». (*Theory of Sound in its relation to Music*, pages 17-18).

Privat Deschanel nous dit que la lèvre supérieure « est elle-même capable de vibrer, d'accord avec n'importe quelle note se trouvant à une portée considérable, et la note qui est déterminée par la résonnance de la colonne d'air du tuyau ». Une théorie semblable est avancée dans l'ouvrage de Schlimbach, *Ueber die Erhaltung, Stimmung und Prüfung der Orgel* (troisième édition révisée par Becker, Leipzig, 1843). Cet ouvrage dit (page 104) que les deux lèvres sont « projetées vivement en mouvement », ce qui serait prouvé par le fait que « le

son disparaît quand on place un doigt sur la lèvre ». Il se trouve que cette dernière assertion est directement contraire à la vérité. Dans la construction des orgues modernes, la lèvre supérieure est souvent d'une épaisseur sensible, et même recouverte de cuir ; la théorie d'une lèvre vibrante est entièrement réfutée par le fait qu'on peut la maintenir dans un état d'immobilité complète, sans nuire à la parole du tuyau. Tyndall dit que de projeter cette mince lame d'air contre le tranchant de la lèvre « produit des pulsations dont un temps déterminé est alors converti en son musical au moyen de la résonance que fournit la colonne d'air associée » (*Sound*, page 183. Londres, 1867). En parlant de cette pulsation il se rapproche beaucoup plus de la vérité que ne le font les autres auteurs cités. La seule critique qu'on puisse faire de son assertion plus précise, est qu'elle est incomplète.

Il serait superflu de citer les ouvrages d'autres physiiciens qui ont des opinions semblables, et je me propose de discuter quelques théories de Helmholtz, énoncées dans son ouvrage *Théorie physiologique de la Musique* (traduit de l'allemand par M. G. Guérout, Paris 1868). Ce livre de Helmholtz a depuis longtemps déjà été considéré comme l'ouvrage classique sur les phénomènes de l'acoustique. Il approfondit beaucoup plus notre sujet que ne le font la plupart des autres auteurs.

II. — La théorie de Helmholtz

Helmholtz présuppose dans sa théorie que chaque tuyau possède une série d'harmoniques qui lui son propres, et qui sont déterminées par sa forme. En plus de cela, il y a aussi des sons produits à la bouche, et d'après lui et d'autres auteurs, si ces sons correspondent suffisamment aux harmoniques propres du tuyau, ils se-

ront renforcés. Nous ferons plus tard un examen détaillé de cette théorie.

Voici ce qu'il dit :

« De même que pour les tuyaux de ce genre, pour les flûtes, les bouteilles précédemment décrites, les caisses sonores des violons, on peut, en général, avec toute cavité pleine d'air, et munie d'un orifice suffisamment étroit, produire des sons en dirigeant sur cet orifice un courant d'air étroit, en forme de ruban ; il faut supposer cet orifice muni de bords assez saillants et tranchants.

« C'est le choc de l'air contre ces bords qui donne naissance au son dans tous ces instruments ; le courant vient s'y briser et produit un sifflement ou frôlement particulier, qu'on entend isolément quand il n'y a pas de tuyau adapté, ou quand on perce un orifice semblable sur une planchette. Plus l'orifice est étroit, plus le vent est fort, et plus ce sifflement est aigu. Un bruit de ce genre doit être considéré, on l'a dit plus haut, comme le mélange d'un grand nombre de sons discordants voisins les uns des autres. La cavité du tuyau vient renforcer, par la résonnance, les sons de ce mélange qui correspondent à ses sons propres ; ces derniers prennent alors une intensité supérieure à celle de tous les autres, qu'ils couvrent complètement. Aussi, dans tous les instruments de cette nature, entend-on toujours plus ou moins nettement, le frôlement de l'air qui accompagne le son, et qui donne au timbre quelque chose de particulier » (Pages 123-4).

Il continue :

« On peut de même renforcer le son d'un diapason en l'approchant de l'orifice d'un tuyau, lorsque la hauteur du son du diapason correspond à l'un des sons propres à la masse d'air du tuyau, et on peut, au moyen d'une

série de différents diapasons, trouver et déterminer facilement et d'une manière précise les sons propres du tuyau.

« Au reste le caractère musical du timbre de ces tuyaux dépend essentiellement du fait suivant : les harmoniques du son produit par l'air, sont-ils ou non assez voisins des sons propres correspondants du tuyau pour pouvoir être renforcés comme le son fondamental ?

« Ce n'est que dans les tuyaux cylindriques étroits et ouverts, comme les flûtes, et le régistre du violon principal (1) dans l'orgue, que les sons propres aigus du tuyau correspondent exactement aux harmoniques du son fondamental. En soufflant plus fort, ce qui augmente la hauteur du frôlement de l'air, on peut faire parler isolément les sons aigus du tuyau... Dans les tuyaux cylindriques (2) outre le son fondamental, une série d'harmoniques est renforcée par la résonnance du tuyau, surtout si on souffle avec force, de manière à augmenter beaucoup la hauteur des sons contenus dans le frôlement de l'air » (*ibid.*, page 124).

III. — *Théorie de l'anche aérienne.*

En 1840, M. Aristide Cavaillé-Coll, facteur d'orgues parisien, qui se fit plus tard une grande renommée, présenta (le 24 février) un mémoire à l'Académie des Sciences à Paris. Ce mémoire ne fut publié qu'en 1895 sous le titre *Etudes expérimentales sur les tuyaux d'orgues*.

Cavaillé-Coll fit observer qu'en faisant parler les tuyaux de flûte de seize pieds, il crut s'apercevoir, en présentant la main devant l'ouverture de la bouche, que la lame d'air sortant par la lumière exécutait des vibrations du dedans au dehors du tuyau, comme pourrait

(1) Allemand : Geigenprinzpal ; c'est-à-dire en français, simplement violon.

(2) Le texte allemand y ajoute le mot « étroit ».

faire une lame vibrante métallique qui serait placée dans la même direction que le courant d'air, et pincée par l'une de ses extrémités entre les parois de la lumière. Il qualifia cette action motrice du terme « anche libre aérienne », ou simplement « anche aérienne ».

Il n'entre pas dans les détails du procédé par lequel cette anche aérienne est produite, mais il expose sa théorie avec une clarté admirable.

Cette théorie de l'anche aérienne fut indépendamment conçue par Hermann Smith, de Londres, qui proposa, le premier, une explication relative à sa production (voir une série d'articles publiés en 1873-1874 dans *Nature* ; aussi, l'appendice XIX, pages 708-711, de la traduction en anglais de l'ouvrage de Helmholtz, par Ellis : et encore *Modern Organ Tuning* et *The Making of Sound the Organ and in the Orchestra*, tous deux par Hermann Smith). La question fut aussi discutée par Schneebeli, en 1874 (*Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*, Band 158) et par F. W. Sonreck en 1876 (*ibid.*, Band 158).

Ces auteurs ont des opinions tant soit peu différentes quant aux détails du fonctionnement de l'anche aérienne. La phase initiale de l'action est-elle une condensation ou une raréfaction ? Cela ne change en rien l'action, et ils soutiennent que l'anche aérienne est produite par les phases alternantes de condensation et de raréfaction de l'air qui est renfermé dans le tuyau, en obligeant la lame d'air à osciller rapidement devant la lèvres supérieure. Supposons que la phase initiale soit une condensation à l'intérieur du tuyau, causée par le passage précipité de l'air à travers la lumière. La colonne d'air est repoussée vers le haut, et la lame d'air est également rejetée hors du tuyau. Ce mouvement est immédiatement suivi d'une raréfaction à cause de laquelle la lame d'air pénètre de nouveau à l'intérieur du tuyau afin d'en être encore une

fois expulsée en dehors de la lèvre. Ainsi les phases se répètent-elles alternativement.

A ce point, je crois bien de mentionner les recherches de MM. Charles Lootens et van Tricht, publiées dans le *Journal de Physique* (Tome VI, page 53), en 1877. Cet article est très court et donne pas beaucoup de détails sur leurs expériences. Ils affirment que le vent en atteignant la lèvre supérieure, se partage. A la partie qui passe à l'extérieur (et qu'en passant ils nous disent être la partie principale), ils donnent le nom de « courant principal », et à la partie qui passe à l'intérieur, celui de « courant dérivé ». Ils ont vérifié la direction que prend ce dernier courant au moyen de fumée de cigarette, ainsi qu'au moyen d'un cadre de laiton portant des hélices ou des valves en sureau, dont le mouvement trahit la direction du courant. Le « courant dérivé » en remontant à l'intérieur de la lèvre, prend une direction rotatoire (on l'appelle un « cyclone »), s'éloignant de la paroi de face, et est ensuite totalement ou partiellement rejeté au dehors du tuyau à travers l'embouchure. Quelquefois une autre portion de ce courant forme un « cyclone » en sens inverse, et plus haut dans le tuyau.

Ces observations s'accordent très bien avec la théorie de l'anche aérienne dont je viens de parler. La seule critique que l'on serait tenté de faire, se rapporte à la nomenclature qui a été adoptée. Mes observations personnelles m'ont démontré que c'est la plus grande partie du courant qui est attirée à l'intérieur de la lèvre, et qui devrait par conséquent être appelée « courant principal ». Quant à ce phénomène lui-même et à sa cause, j'ai présenté quelques observations dans les pages 21 et 22 de cette thèse.

CHAPITRE II

CRITIQUE DE LA THEORIE DE HELMHOLTZ

I

Quant on soumet la théorie de Helmholtz à un examen minutieux, certains points faibles apparaissent immédiatement.

Les recherches faites depuis l'époque où parût le livre de Helmholtz ont ajouté plus de poids à une autre théorie, celle de « l'anche aérienne ». Du reste, comme Helmholtz s'en est sans doute rendu compte, il y a des difficultés qui s'opposent à l'établissement d'une théorie vraiment précise, fondée sur les principes qu'il a énoncés. Il est donc très possible qu'il ait été intentionnellement vague à ce sujet. Il n'explique jamais s'il considère le fondamental du tuyau comme étant de ces sons produits par le sifflement du vent à la lèvre, et qu'il suppose être choisis et renforcés par le tuyau comme résonnateur. Quoi qu'il en soit, on peut démontrer que cette théorie n'est pas admissible.

J'ai pris divers tuyaux dont j'ai enlevé le corps, et j'ai écouté avec soin le sifflement. Dans aucun cas je n'ai trouvé présent dans ce sifflement, ni le fondamental, ni les premiers harmoniques.

Par exemple :

J'ai pris deux tuyaux de montre ouverts, parlant tous les deux la même note, mais dont les dimensions de la bouche étaient différentes. Ces tuyaux mesuraient 368,3 m/m de longueur, 41,27 m/m de diamètre et sonnaient le *Fa* au dessus d'*Ut*-3. J'ai choisi cette note comme étant assez basse pour qu'on puisse la distinguer

facilement du sifflement qui se produit à la bouche et qui est plutôt aigu. Dans le premier de ces tuyaux, la bouche mesurait 23,81 m/m de large et 9,52 m/m de haut, et dans le deuxième 26,98 m/m et 9,52 m/m. Le premier possédait des dents extraordinairement fines et peu dispersées, ce qui produisait un sifflement très net, et facile à distinguer. Dans l'autre, les dents étaient assez grosses et le sifflement plus difficile à distinguer.

J'ai enlevé le corps de chaque tuyau. Dans le premier j'ai trouvé que la note la plus basse que je pusse entendre était à l'intervalle d'à peu près un dix-septième au-dessus du son normal du tuyau. Dans le deuxième cas, elle était encore plus haute. Je puis donc constater avec certitude que nul son plus bas n'était produit. Le sifflement ne rendait ni le fondamental du tuyau, ni ses trois harmoniques suivants, qui, selon la théorie de Helmholtz, auraient dû être en évidence pour qu'ils soient renforcés par le tuyau comme résonnateur.

Afin d'obtenir une démonstration visible, j'ai répété l'expérience dans des conditions semblables, me servant d'une série de résonnateurs Kœnig (du nombre de huit). Le résonnateur le plus bas était accordé à Ut-2 (256 v. s.). J'ai fait sonner un tuyau donnant cette note devant les résonnateurs, et le miroir tournant montra que la flamme sensible qui est attachée à chaque résonnateur en était affectée. J'ai ensuite coupé le tuyau au-dessus de l'embouchure en laissant une portion considérable de la lèvre supérieure, afin que le sifflement puisse se produire sous des conditions tout à fait favorables. Aucun des résonnateurs ne fut affecté par le sifflement.

J'ai répété l'expérience avec de sensibles augmentations et diminutions de la pression du vent, mais (comme c'était à prévoir) les résultats ont été également négatifs.

Il est donc évident que cette hypothèse de Helmholtz n'est pas bien fondée.

II

Ayant prouvé ce point, il ne serait peut-être pas déplacé d'ajouter quelques réflexions de nature théorique et inductive qui serviront à démontrer qu'en réalité ce sifflement n'est qu'un facteur d'importance tout à fait subordonnée.

La différence entre ce sifflement et la vraie note du tuyau est bien marquée dans les tuyaux de longueur moyenne — disons 4 pieds — mais quand on vient à examiner des tuyaux de l'octave à partir de 32 pieds, le contraste est bien évident. J'ai écouté plusieurs modèles de cette espèce. A proximité du tuyau, le bruit produit à la bouche est considérable, on ne peut l'appeler un sifflement, c'est un puissant bruissement de vent qui n'a aucune note ou groupe de notes définies. Or, la note émise par un tuyau de cette grandeur est très pénétrante et garde son intensité à une distance plus grande que ne le font les tuyaux dont l'onde sonore est plus courte. (De fait, ces tuyaux sont souvent placés à distance du corps de l'orgue, afin de ne pas nuire à l'architecture d'un bâtiment). A une telle distance on n'entend que la note mélodieuse et pénétrante du tuyau ; aucun bruissement du vent n'est perceptible, car ce dernier n'est pas porté à travers l'espace. Le bruissement du vent qu'on entend dans ces grands tuyaux est causé par l'impossibilité d'obtenir une attaque immédiate, c'est-à-dire de mettre immédiatement en mouvement une colonne d'air aussi longue. Il est le plus perceptible l'instant qui précède la parole du tuyau. Cette difficulté ne se présente pas dans les tuyaux de longueur plus maniable.

Dans l'harmonisation des tuyaux la lèvre supérieure est fendue à une telle hauteur que la lame d'air est dispersée et perd beaucoup de sa pression initiale avant de se heurter à la lèvre. Il est vrai qu'on entend près du

tuyau quelque léger sifflement à la lèvre, qui (comme dit Helmholtz) « donne au timbre quelque chose de particulier ». Mais on peut dire que ce bruissement qui se manifeste à la bouche est un bruit mécanique plutôt qu'un son musical, et il peut même être éliminé presque entièrement des tuyaux de grandeur normale, en ajustant la lèvre à une hauteur voulue. Il peut être comparé au bruit d'origine purement mécanique qui se laisse parfois entendre lorsqu'on frotte l'archet contre une corde de contre-basse.

III

Il y a d'autres considérations qui nous indiquent que la parole d'un tuyau d'orgue dépend d'autre chose que d'un simple renforcement de certains sons produits à la lèvre.

Nous savons que de fendre l'air avec une canne produit un son. Mais, le mouvement de la canne doit être rapide, et engendré avec une certaine force, si l'on veut obtenir un son qui ait tant soit peu de volume — surtout si la canne est forte, et ne laisse pas elle-même induire en vibration. L'inverse de cette proposition est également vrai. Il se produira un son si un courant d'air est dirigé contre une masse tranchante telle que la lèvre d'un tuyau d'orgue. Etant donné que la lèvre elle-même ne sert pas de vibreur, il faudrait un courant d'air intense pour produire un son ayant du volume. Le jet d'air provenant de la lumière d'un tuyau à bouche me semble n'être ni assez intense ni assez volumineux pour produire un son ayant la hauteur et le volume désiré. La note produite par une canne fendant l'air n'est que très peu plus forte, si elle l'est du tout, que la note correspondante produite par un diapason en vibration. Cependant, quand ce dernier est renforcé au moyen d'un résonnateur, le son qui en résulte

n'a aucune proportion avec la note d'un tuyau d'orgue. Le tuyau d'orgue rend un son ferme et plein qui n'a pas grand'chose de commun avec le doux murmure d'un résonnateur. Le corps sonore est bien la source première du son, et non l'intensificateur d'un son qui aurait son origine ailleurs. Pas plus du reste que ne l'est dans un cas analogue la corde du violon pour un léger grattement qui aurait lieu à sa surface. Il y a dans la parole d'un tuyau d'orgue cette vibration énergique qui doit rendre inacceptable à celui qui observe les faits avec soin, la « reibungstheorie » de Helmholtz et d'autres physiciens.

D'autre part, la théorie de l'anche aérienne (à part des idées trompeuses que peut suggérer son nom) est tout à fait à même d'expliquer le phénomène, et nous permet de considérer la colonne d'air, mise dans un état d'activité intense, comme la source première du son. Dans le premier cas nous avons une théorie disant que le vent projeté contre une masse produit un bruissement dont quelquesuns des sons produits sont choisis et renforcés par le tuyau ; ce dernier servant de résonnateur. Dans le deuxième, une théorie d'après laquelle il y a une condensation et évacuation régulière à la bouche du tuyau — théorie qui explique facilement le battement si caractéristique de cette classe de tuyau d'orgue.

CHAPITRE III

ETUDE DE « L'ANCHE AERIENNE »

On peut observer le fonctionnement général de cette anche aérienne de plusieurs manières dont la plus simple est de tenir ou de coller une feuille de papier près de la lumière ; le courant d'air enlève la feuille et la fait osciller en travers de la lèvre supérieure. Un moyen qui permet d'étudier en détail le mouvement de l'anche aérienne consiste à projeter sur elle la flamme d'un mince jet de gaz, un courant de fumée de sel-ammoniaque, de la poudre de talc ou encore à insuffler de la fumée de cigarette dans le tuyau. Dans mes expériences je me suis servi de toutes ces méthodes.

I

Sa création

Il est important d'abord de remarquer que l'anche aérienne n'est produite à l'embouchure que s'il y a une colonne d'air renfermée par un corps sonore. J'ai fait souffler dans un tuyau dont le corps avait préalablement été enlevé à partir du sommet de la lèvre supérieure ; l'air s'élança à l'extérieur en frôlant la lèvre au passage, mais il n'en résulta pas d'anche aérienne oscillante. La flamme ou le flocon de papier qui servit à mon expérience fut emportée par le courant d'air et trembla un peu, mais ne commença pas une oscillation rythmique d'ampleur perceptible.

II

Quelle est la direction de la lame d'air ?

Il existe certaines divergences d'opinion quant à la direction que la lame d'air doit prendre par rapport à la lèvre supérieure afin de produire cette anche aérienne. Etant donné que nous examinons comment fonctionnent les tuyaux à bouche, j'ai crû qu'il serait bon, en passant, d'étudier cette question.

Schneebeli (*Poggendorffs Annalen*, 1874), a soutenu que le vent doit se heurter contre la lèvre, tandis que Hermann Smith affirme que le courant n'est point du tout dirigé sur la lèvre. « M. Hermann Smith dit que le vent n'est pas dirigé contre le bord de la lèvre, et que s'il était ainsi dirigé, le tuyau ne parlerait pas » (Appendice de la traduction anglaise du livre de Helmholtz, par A. J. Ellis, Londres, 1875, page 709). « L'harmonisation est un art qui consiste à diriger le courant d'air de façon à ce qu'il évite de se heurter contre la lèvre, tout en effleurant celle-ci sans qu'il en résulte aucun ébranlement sur le bord » (*The Making of Sound in the Organ and in the Orchestra*, op. cit., page 102). Le Dr G. A. Audsley; dans son ouvrage important *The Art of Organ Building* (Dodd, Mead et Co., New-York, 1904, 2 tomes), parle de lui comme « de tout temps la plus éminente autorité sur l'acoustique des tuyaux d'orgue ». Il semble partager l'opinion de Hermann Smith, car il dit : « Le tuyau ne parlera pas du tout si la lame d'air en est dirigée à l'intérieur, ou de façon à se partager sur le bord de la lèvre, que ce bord soit mince ou épais » (page 379).

Ces opinions de Hermann Smith et de Audsley m'ont paru erronées. Il n'est pas vrai de dire que les facteurs d'orgues dirigent sans exception la lame d'air au dehors du tuyau. Ils l'inclinent dans des directions diverses,

selon le genre de tuyau qu'ils manient et selon le timbre qu'ils désirent obtenir. Aucun de ces auteurs ne semble avoir tenu compte de ce fait. Avec les flûtes et le Stopped Diapason, ancien modèle anglais, ils le font d'habitude projeter principalement à l'intérieur de la bouche. Avec quelques montres la direction est à peu près partagée. Avec les jeux de gambes et les autres montres, elle tend principalement vers l'extérieur.

Il n'est pas difficile de résoudre cette question d'une façon décisive par des expériences des plus connues, comme Schneebeli l'a décrit, et à cette fin j'ai employé deux tuyaux de montre mesurants 20 cm. de longueur. Le biseau et la lèvre supérieure étaient ajustés de manière à ce que dans le premier cas, la lame d'air passait au dehors de la lèvre supérieure, et dans le deuxième cas, en dedans. Ceci fut vérifié avec soin en insufflant les tuyaux avec la fumée de cigarette. Le premier de ces tuyaux ne parlait que lorsqu'on dirigeait continuellement un courant d'air contre la bouche, de façon à faire dévier la lame sur la lèvre ; autrement, le seul son perceptible était un léger sifflement. Le second tuyau ne parlait qu'à condition de diriger de même façon un jet contre le sommet, ce qui faisait encore dévier la lame d'air sur la lèvre. De plus, j'ai trouvé moyen d'ajuster un troisième tuyau avec une telle exactitude qu'un souffle momentané venant du dehors le faisait parler ; et, il continuait à parler jusqu'à ce qu'un nouveau souffle fût envoyé dans l'ouverture du sommet.

Il s'ensuit évidemment que la lame d'air doit en quelque sorte se heurter à la lèvre supérieure.

III. — (Suite)

Pourquoi est-il nécessaire que la lame d'air se heurte en quelque sorte à la lèvre ? Schneebeli démontre qu'il en

est ainsi, mais n'approfondit pas la question. Faisons-en un bref examen.

En observant à maintes reprises à l'aide d'un chalumeau à gaz (et d'autres moyens) la direction que prend la lame d'air, j'ai découvert un fait auquel les diverses autorités que j'ai citées ne font pas allusion. Cavaillé-Coll et Hermann Smith dans des illustrations nous montrent, tous les deux, l'anche aérienne dans une position qu'en réalité elle n'occupe jamais. Ils montrent la lame d'air s'élevant dans une direction verticale de la lumière et ensuite se dispersant lentement. On pourrait donc s'attendre à ce qu'une flamme tenue près de la base de la lame d'air subirait des oscillations, et serait violemment repoussée dans la bouche du tuyau. Or, on trouve, au contraire, un courant d'air vers l'intérieur du tuyau qui attire la flamme par l'entrée de la bouche. Quand un train traverse l'espace à une très grande vitesse, le mouvement comprime l'air devant le train, et laisse de chaque côté une raréfaction. De la même manière, la lame d'air en se mouvant vers la lèvre supérieure refoule l'air qui se trouve devant elle, et cause un vide partiel derrière emportant dans son train des parcelles d'air de chaque côté. A l'extérieur du tuyau, ce courant peut prélever sur la quantité illimitée d'air atmosphérique, et une flamme présentée à la lèvre inférieure, montre comment la lame d'air sortant de la lumière aspire l'air du dehors. Mais à l'intérieur du tuyau, la lame d'air traverse une étendue close, bornée d'un côté par la couche d'air qui s'étend de la lumière à la lèvre supérieure, et d'autre part par le tuyau. Il se produit immédiatement un vide partiel (ce qui est prouvé par le fait qu'une flamme maintenue au niveau du biseau est de suite aspirée). Ainsi l'équilibre de la lame d'air est détruit, ce qui la fait dévier à l'intérieur du tuyau. Le procédé déjà décrit (page 11) est ainsi conçu.

Si l'on perce un trou dans le tuyau juste au-dessus.

du biseau (ou un trou assez grand dans le biseau même), cette raréfaction ne peut pas avoir lieu, et la parole du tuyau est détruite. La même chose est vraie si la lame d'air, parce qu'elle est dirigée trop vers l'intérieur ou vers l'extérieur, ne fait pas contact avec la lèvre, permettant ainsi à l'air atmosphérique d'entrer.

IV. — (Suite)

Schneebeli ajoute encore à son expérience une observation. En projetant la lame d'air principalement à l'extérieur du tuyau, il est très rare de voir sortir du sommet de la fumée qu'on introduit à la bouche. Donc que la fumée est projetée par le retour de l'anche aérienne.

En reprenant ces expériences, j'ai trouvé que quand la lame d'air est ainsi dirigée principalement à l'extérieur de la lèvre, il se produit un courant d'air du haut en bas du tuyau qui fait sortir par la bouche de la fumée qu'on introduit au sommet. D'autre part, quand la lame d'air est dirigée principalement à l'intérieur du tuyau, le courant d'air monte du bas en haut, emportant avec lui la fumée qu'on souffle vers la bouche depuis dehors.

Comme il est assez difficile d'observer nettement des traces de fumée quand elles sont mélangées à l'air, je me suis servi d'une autre épreuve que dépend du fait que l'air chauffé augmente immédiatement la hauteur du son d'un tuyau à bouche. Sous les conditions premières, une allumette brûlante où flamme tenue à la bouche ne changerait pas immédiatement la hauteur du son, tandis que sous les conditions dernières, l'allumette produirait un changement immédiat.

CHAPITRE IV

L'ANCHE AÉRIENNE — EST-ELLE UNE ANCHE ?

Ce fut M. Cavaillé-Coll qui donna à la lame d'air oscillante qui se trouve à la bouche d'un tuyau d'orgue le nom d' « anche aérienne » ou même « anche libre aérienne ». Pourtant, il y a entre son fonctionnement et celui d'une vraie anche des différences qui valent la peine d'être étudiées :

1. — Dans un tuyau à anche, que la languette soit « libre » ou « battante », c'est toujours la languette (conjointement avec les bouffées d'air qui lui sont associées) qui est la source du son. Cet appareil fonctionnera même en étant détaché du tuyau qui lui est surimposé en qualité de résonnateur, afin de renforcer et de qualifier le son créé.

2. — La hauteur du son est déterminée par la longueur vibratoire de la languette. Le tuyau lui-même a sur la hauteur une influence qui n'est pas importante, mais par contre influe beaucoup sur la qualité du son. (Pour obtenir un son pur et de bonne qualité, les vibrations du résonnateur doivent être en rapport avec ceux de la languette).

3. — Les tuyaux à anche diffèrent des tuyaux à bouche par le fait qu'ils ne sursoufflent pas dans les harmoniques du résonnateur. La tendance (excepté dans le cas des anches libres) est vers un accroissement de la hauteur en relation directe avec l'augmentation de la pression, mais ceci peut être modifié par certaines conditions. Les généralisations suivantes me semblent admissibles, étant donné les résultats des expériences que j'ai faites.

Anches libres. — L'anche libre a cette particularité qui la distingue de tous les autres tuyaux d'orgue qui fait qu'en augmentant la puissance du vent, on augmente la puissance sonore, mais sans changer la hauteur du son. De là vient son utilisation sous pression variable dans les harmoniums et les orgues américaines.

Une anche libre sans résonnateur abaisse le son d'un peu moins d'un demi-ton quand la pression du vent est augmentée de beaucoup et devient finalement muette, ou sonne une note très haute, plus élevée peut-être de cinq ou six octaves. (Cette note élevée est probablement due à des vibrations torsionnelles et n'est pas produite quand la languette est tordue ou courbée, comme c'est d'habitude le cas dans les orgues américaines).

Lorsque dans un orgue on emploie des anches libres le résonnateur est d'habitude très court ; cela n'influe pas d'une façon appréciable sur la languette ; un résonnateur long rend la note muette plus vite lorsque la pression est augmentée.

Anches battantes. — Sans résonnateur, la hauteur du son augmente graduellement avec l'augmentation de la pression.

Un résonnateur court (employé d'habitude dans les jeux de clarinette, d'hautbois d'orchestre, et de voix humaine) n'exerce pas d'influence appréciable sur le résultat.

Un résonnateur de juste longueur abaisse la hauteur de trois ou quatre demi-tons, parce que la colonne d'air superposée exige de la languette un travail additionnel et plus lourd, ce qui ralentit sa vitesse de vibration. Lorsque la pression est augmentée, la hauteur augmente ; puis la note bondit soudainement jusqu'à la note d'origine de la languette. C'est en parlant de ce phénomène qu'on dit qu'un tuyau à anche « sursouffle ». Cette note n'appartient pas aux harmoniques du tuyau.

Un résonnateur trop long, disons par exemple d'un ton, n'abaisse pas proportionnellement la hauteur (mais nuit sensiblement à la qualité du son). Une augmentation de pression augmente la hauteur uniformément.

II.

Voyons maintenant avec quelle différence se comporte le tuyau à bouche sous ces divers aspects :

1. — Dans un tuyau à bouche, comme nous l'avons vu, l'appareil de la bouche ne produira qu'un bruissement de courant d'air, à moins d'être surmonté du corps sonore. C'est le corps sonore qui est la source du son.

2. — La hauteur est déterminée, non par ce qu'on pourrait appeler la longueur de l'« anche libre aérienne », c'est-à-dire la hauteur de la bouche, mais par le corps sonore. Tandis qu'une variation dans la longueur de la languette d'un tuyau à anche, produit un changement considérable de hauteur, des variations de la hauteur de la bouche ne produisent qu'un faible changement de hauteur, qui est en proportion avec la différence ainsi causée dans la longueur du corps sonore et qui est analogue à la baisse du son qui est produit quand on tient la main devant la bouche. Mais, la hauteur de la bouche influe considérablement sur la qualité du son. (Si la lèvre est trop basse, le tuyau a une tendance à octavier — si elle est trop haute, la qualité du son devient dénaturée à cause du soufflement qui se laisse entendre. Mais une diminution de la pression du vent remédie au défaut d'une lèvre basse. Ce qui paraît être nécessaire, c'est que la lame d'air en parvenant à la lèvre ait perdu suffisamment — mais pas trop — de sa pression initiale afin d'éviter une action trop brusque d'un côté, ou trop faible de l'autre).

Que l'anche aérienne n'est pas soumise (comme la languette) à une périodicité constante telle que pourrait être déterminée par sa longueur, il est facile de le démontrer par expérience.

En raccourcissant graduellement un tuyau, ce qui élève la hauteur du son, la hauteur de la bouche restant la même, j'ai trouvé en faisant l'expérience avec un flocon de papier collé à la bouche, que le mouvement de l'anche aérienne subissait une accélération conforme. D'autre part, en bouchant le tuyau, ce qui diminue la hauteur du son rendu d'à peu près un octave, j'ai trouvé que les pulsations de l'anche aérienne se ralentissaient proportionnellement. De plus, si on force le vent de façon à octaviser le tuyau ouvert, le mouvement de l'anche aérienne s'accroît en vitesse.

De cette expérience nous voyons donc que l'anche aérienne n'a pas de périodicité qui lui soit particulière, et qui soit déterminée par la hauteur de la bouche, mais, qu'elle épouse la périodicité du corps sonore. Ce qui se présente à nos yeux n'est du reste autre chose que la périodicité de la colonne d'air.

3. — Quand on fait sursouffler un tuyau à bouche, il atteint toujours le premier harmonique (l'octave pour un tuyau ouvert et la douzième pour un tuyau bouché). Contrairement au cas du tuyau à anche, cette note est déterminée par la périodicité du tuyau. Les autres harmoniques suivent selon l'augmentation de la pression.

III

La plupart des auteurs ont tout naturellement envisagé ce phénomène de l'« anche aérienne » du point de vue de la lame d'air. En suivant la lame d'air dans son parcours depuis la lumière jusqu'en haut, il était facile de la comparer à une anche vibrante. Ainsi

Cavaillé-Coll en parle comme du « premier moteur du son dans l'embouchure des tuyaux à flûte, moteur que nous assimilons à une *anche libre aérienne* (op. cit., p. 6). Mais, ce serait peut-être plus juste d'envisager la chose au point de vue du tuyau. La lame d'air n'est autre chose qu'un mécanisme qui a pour but de faire déborder la colonne d'air à l'intérieur du tuyau à des intervalles réguliers. Dans ce procédé, la colonne d'air s'empare de la lame d'air quand celle-ci a atteint un degré de dispersion suffisant et la fait osciller de part en part. L'oscillation de la lame d'air est plutôt l'effet que la cause du mouvement périodique de la colonne d'air. La cause première du son est l'attaque faite sur la colonne d'air par la lame d'air attirée à l'intérieur, et qui (comme le démontrent Lootens et van Tricht) est animé d'un mouvement rotatoire. Cet aspect du phénomène ressemble à l'action de l'archet sur une corde, ce qui cause aussi un mouvement rotatoire, comme a démontré Cornu. L'anche aérienne, c'est-à-dire l'oscillation de cette lame d'air, résulte de ce mouvement de la colonne d'air, et représente la lame d'air dans sa qualité de vibreur qui par ses intermittences régulières permet à la colonne d'air de se mouvoir en phase périodique.

Somme toute, peut-être ce choix de l'expression « *anche aérienne* » n'est pas des plus heureux, car cette lame d'air n'a que peu de chose en commun avec une anche, et à vrai dire ne se comporte pas du tout de la même manière.

RESUME ET CONCLUSIONS

1. — Dans sa *Théorie physiologique de la Musique*, Helmholtz développe une hypothèse selon laquelle le sifflement produit à l'embouchure d'un tel tuyau doit être considéré comme le mélange d'un grand nombre de sons discordants voisins les uns des autres, et parmi lesquels, le tuyau, selon ses dimensions et sa forme, choisit et renforce quelques uns.

En examinant plusieurs tuyaux j'ai trouvé que dans aucun cas le fondamental ou les harmoniques inférieurs n'étaient présents dans ce sifflement, et j'ai démontré ce fait dans le cas d'un tuyau de montre d'usage habituel, au moyen de résonnateurs Kœnig. Par conséquent, cette théorie de Helmholtz ne me paraît pas fondée.

De plus, comme qualité, le son produit par un tuyau à bouche de l'orgue, diffère absolument de celui qui est produit par un tuyau servant simplement de résonnateur.

2. — Cavaillé-Coll et Hermann Smith (et après eux d'autres auteurs encore) ont démontré que la lame d'air à l'embouchure du tuyau est mise dans un état d'oscillation pendant que le tuyau sonne. Ils ont donné à cette lame d'air oscillante le nom d' « anche aérienne ». J'ai examiné cette « anche aérienne » à plusieurs points de vue.

3. — Schneebeli a démontré qu'un tuyau ne parle pas à moins que la lame d'air se heurte en quelque sorte à la lèvre supérieure du tuyau. Des assertions contradictoires ont été faites depuis par Hermann Smith et le docteur G. A. Audsley (auteur du plus grand et plus important traité sur la construction d'orgues). Ils sont

d'avis que le tuyau ne sonne pas si la lame d'air est divisée par la lèvres. J'ai vérifié avec beaucoup de soin l'exactitude des conclusions de Schneebeli, et j'ai tenté d'expliquer pourquoi le vent doit se heurter à la lèvres.

4. — En reprenant une expérience de Schneebeli, j'ai trouvé que la direction que prend le courant d'air à l'intérieur du tuyau — que ce soit de haut en bas ou de bas en haut — dépend de ce que la lame d'air est dirigée principalement en dehors ou en dedans du tuyau.

5. — Finalement, je me suis permis de critiquer le nom d' « anche aérienne », donné à la lame d'air oscillante, par Cavaillé-Coll et les auteurs qui l'ont suivi. J'ai démontré que cette lame oscillante n'a que peu de chose en commun avec une anche, et à vrai dire ne se comporte pas du tout de la même manière. Cavaillé-Coll considère cette « anche libre aérienne » (comme il l'appelle) comme le « premier moteur du son ». Je n'envisage pas le phénomène ainsi, et le considère plutôt comme l'effet que comme la cause du mouvement vibratoire de la colonne d'air. Sa périodicité n'est pas déterminée par la hauteur de la lèvres supérieure (qui correspondrait à la longueur vibratoire de l' « anche aérienne ») mais est entièrement déterminée par la vibration de la colonne d'air.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Chimie. — Études de la solidification des alliages
métalliques.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 14 Janvier 1921.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

M. MOLLIARD.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

P. APPELL.

IMPRIMERIE
« GRAPHIQUE »

15, Rue Saint-Gilles, 15
PARIS (3^e arr')

